SULLA STRUTTURA INTIMA

DELL' ORGANO ELETTRICO DEL GIMNOTO

E

DI ALTRI PESCI ELETTRICI

SULLE CONDIZIONI ELETTRO-MOTRICI DI QUESTI ORGANI, E LORO COMPARAZIONE A DIVERSE PILE ELETTRICHE

MEMORIA

DEL

DOTT. FILIPPO PACINI

PUBBLICO PROF. DI ANATOMIA ISTOLOGICA E DI ANATOMIA TOPOGRAFICA NELLA SCUOLA UNIVERSITARIA DI PERFEZIONAMENTO DELL' I. E R. ARCISPEDALE DI S. M. NUOVA DI FIRENZE

Letta alla R. Accademia dei Georgofili nella seduta del dì 19 Settembre 1852.

FIRENZE

TIPOGRAFIA DI MARIANO CECCHI

1852

Estr. dalla GAZZETTA MEDICA ITALIANA — *federativa* — TOSCANA —
Anno 1852, pag. 305, 321, 329, 340.

A

MAURIZIO BUFALINI.

A VOI GIÀ MIO MAESTRO

CHE MEGLIO E PIÙ D'OGNI ALTRI FRA I MEDICI DEL NOSTRO PAESE

SAPESTE APPREZZARE

NELLE OPERE VOSTRE IMPERITURE

LA POTENZA DEL MICROSCOPIO:

A VOI

CHE NE VEDETE IL FECONDO AVVENIRE

COME NE CONCEPISTE LE PRIME SPERANZE:

A VOI

È DOVUTO QUESTO OMAGGIO DI RICONOSCENZA,

DI VENERAZIONE E DI RISPETTO

Del Vos. Aff. Servit. e Collega

FILIPPO PACINI

Et avant tout, il nous reste encore à découvrir par quels moyens la force nerveuse et l'electricité peuvent se transformer l'une dans l'autre, ou au moins comment l'une peut exciter l'autre à l'aide d'une organisation particulière.

Matteucci, *Traité des Phénomènes électro-physiologiques, etc., Paris* 1844, pag. 342.

L'Anatomia microscopica può rendere ancora un grande servigio alla *Fisica*, studiando l'organo elettrico dei pesci e specialmente bene stabilendo la distribuzione dei filetti nervosi nell'organo.

Matteucci, *Lez. sui fen. fisico-chimici*, ec., Pisa 1846, pag. 173.

L'Anguilla del Surinam od il Gimnoto, per le nuove osservazioni da me istituite, è l'unico fra i diversi pesci elettrici fin qui conosciuti, che abbia nel suo organo elettrico manifestamente distinti i due *elementi, positivo* e *negativo* delle ordinarie pile voltiane.

Questo fatto, che mi è giunto, se non inaspettato, almeno straordinariamente interessante, io non dubito che sarà per avere non poca influenza non solo sulla fisiologia dei pesci elettrici, ma più di tutto su quella del sistema nervoso in generale, circa alle relazioni fra la potenza nervosa e la potenza elettrica nei fenomeni di elettricità animale; giacchè noi vedremo come questa condizione elettro-motrice dell'organo elettrico del Gimnoto mi abbia condotto a scoprirne una analoga in quello assai più semplice della Torpedine, e come dietro questa possa ricavarsi la ragione di certi fenomeni di elettricità animale, che talvolta si sono manifestati anche nell'uomo.

A primo aspetto sembrerà inammissibile che l'organo elettrico del Gimnoto sia costruito sul medesimo tipo delle ordinarie pile voltiane; non sembrando che in tal caso le scariche elettriche possano essere subordinate sempre alla volontà dell'animale. Ma io farò osservare che la eterogeneità delle sostanze organiche

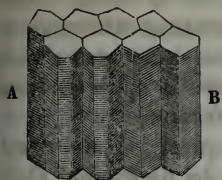
non è mai tanto forte da poter produrre di per se sola un conflitto chimico-elettrico sufficentemente sensibile; mentre d'altra parte sappiamo che l'influsso nervoso è capace di eccitare una reazione validissima di tal natura anche fra le parti omogenee le più indifferenti; tanto più poi se queste parti siano *eterogenee*, come si vedrà nei diaframmi elettrici del Gimnoto, ciascuno dei quali rappresenta una vera *coppia voltiana*.

È bensì vero però, che per concepire lo sviluppo della elettricità per l'influsso del sistema nervoso, non è necessario ammettere assolutamente delle parti eterogenee, poichè la potenza nervosa potrebbe bene agire come agisce il calorico nelle pile termo-elettriche, producendo una *polarità* anche fra le parti le più omogenee. Ma in qualunque modo ciò accada è impossibile recusarsi di ammettere una qualche differente condizione fra una superfice e l'altra di ciascun diaframma elettrico; poichè altrimente non vi sarebbe ragione alcuna perchè una superfice potesse manifestare la elettricità *positiva* piuttosto che quella *negativa*, ovvero in altri termini perchè potesse svilupparsi o almeno rendersi fenomenale la elettricità. La questione soltanto era di sapere se questa differente condizione fosse puramente molecolare od invisibile, ovvero se fosse di tal natura da potere avere una espressione fisicamente apprezzabile.

Finchè si sono studiati soltanto i diaframmi dell'organo elettrico della Torpedine, era difficile il supporre, per la loro estrema sottigliezza e semplicità, che potessero offrire una qualche differenza sensibile fra la faccia superiore e la inferiore; ma da che ho trovata una differenza così manifesta nei diaframmi elettrici del Gimnoto, ho dovuto pensare che si dovesse trovare qualche cosa di simile anche in quelli della Torpedine e di altri pesci elettrici. Dietro ciò ho creduto dovermi applicare a nuove indagini microscopiche sull'organo elettrico della Torpedine; sicchè ora dandone una breve notizia, non trascurerò di accennare ancora ciò che sappiamo dell'organo elettrico di altri pesci, per fare quindi un confronto più immediato col tipo assai più complicato dell'organo elettrico del Gimnoto.

Ognun sa che nella Torpedine l'organo elettrico (Fig. 1ª) è essenzialmente costituito di una infinità di sottilissime lamelle o diaframmi, di forma poligonare, i quali sovrapposti gli uni agli altri formano delle specie di colonne o di pile prismatiche aventi una forma pentagonale od esagona (AB). Questi diaframmi sono assai moltiplicati, avendone contati circa 50 nell'altezza di un millimetro. La loro sottigliezza è grandissima, però un poco minore alla periferia che verso il centro ed io ho potuto valutarla di 0,003 a 0,005^{mm}; sicchè lo spazio od intervallo che passa fra un

diaframma e l'altro è di circa 0,016^{mm}. Questo spazio è occupato da un fluido trasparente, forse albuminoso, che certamente serve di conduttore elettrico fra i diversi diaframmi (1).

Fig. I.

Organo elettrico della TORPEDINE ingrandito il doppio del diametro naturale.

L' animale è considerato nella sua naturale posizione.

AB. *Prismi* dell' organo elettrico, formati di sottilissimi *diaframmi* orizzontali.

Si sa che fra i prismi formati da questi diaframmi si trovano molti piccoli setti aponevrotici che separando un prisma dall'altro servono a sostenere e condurre i vasi sanguigni ed i nervi. Fin' ora si è creduto che questi setti formassero le pareti immediate dei prismi, e che i diaframmi elettrici fossero attaccati pei loro margini a questi setti. Io ho potuto riconoscere che i prismi e perciò anche i diaframmi elettrici sono quasi affatto indipendenti da questi setti, e che con un poco di attenzione può estrarsi un prisma elettrico quasi intero di dentro la cavità prismatica formata dalla intersezione di questi setti medesimi. Di fatto i prismi elettrici non aderiscono ai setti aponevrotici in altri punti che ai loro angoli, mentre sulle loro facce ne sono separati per uno spazio ristrettissimo ripieno di un fluido trasparente. I punti di adesione che trovansi ai loro angoli sembra che siano costituiti in gran parte dai vasi e nervi che dai setti penetrano nei prismi, sicchè distruggendo questi punti lineari di adesione, può estrarsi il prisma elettrico dalla cavità prismatica dei setti.

Questa disposizione rende evidentemente i prismi elettrici assai più indipendenti l'uno dall'altro di quel che poteva supporsi per l'avanti, costituendo questi prismi nella condizione di altrettante piccole pile quasi isolate.

Probabilmente la parete immediata dei prismi elettrici è formata dalla continuazione dei diaframmi stessi: e non è improbabile che lo sviluppo embriogenico di questo organo elettrico mostri che i prismi e i diaframmi elettrici resultino dalla sovraposizione e schiacciamento di molte cellule o vessicole, le cui pareti contigue si confondano insieme. Di fatto verso la perife-

(1) Per ulteriori dettagli vedasi il più bel lavoro che sia comparso fin'ora su questo argomento, intitolato: *Etudes sur le système nerveux et sur l'organe électrique de la Torpille;* par M. P. Savi; nel *Traité des phenomènes electro-physiologiques des animaux;* par M. C. Matteucci, Paris 1844.

ria i diaframmi elettrici appariscono formati di due sottilissime lamelle, le quali ben presto si confondono insieme.

Il tessuto di questi diaframmi è molto semplice, ed è costituito di una sostanza trasparente ed omogenea, nella quale si vedono talvolta delle finissime granulazioni, che io credo siano dovute al coagulamento o precipitazione di sostanze fibrinose o albuminose. Oltre di ciò vi si osservano ancora dei grandi e rari nuclei i quali si staccano facilmente, e che io credo appartengano al nevrilema delle fibre nervose di questi diaframmi.

Il celebre Prof. R. Wagner ha descritte in questi ultimi tempi con la più grande attenzione le fibre nervose dei diaframmi elettrici della Torpedine (1): avendone io verificata tutta l'esattezza, non ho che da aggiungere alcune mie particolari osservazioni che ho fatte appositamente in questo anno, e che credo di molta importanza.

Le fibre nervose ed i vasi sanguigni dell' organo elettrico della torpedine penetrando nei prismi elettrici *entrano liberamente negli spazii* che sono compresi fra un diaframma e l' altro, e percorrono lunghi tratti immerse nel fluido che riempie questi spazii, dividendosi dicotomicamente in molte diramazioni successive. Perciò nulla di più facile che trovare di queste fibre affatto isolate per molta lunghezza, allorchè si separa un diaframma dall' altro. A misura che queste fibre si diramano e si assottigliano, si avvicinano sempre più al diaframma *sovraposto* e finalmente con le loro ultime diramazioni si attaccano tutte *alla sola faccia inferiore* di ciascun diaframma, nel quale scompariscono dopo essersi ridotte in sottilissimi filamenti.

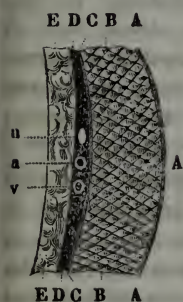
Osservando uno di questi diaframmi elettrici disteso in piano, sembra che le fibre nervose siano contenute nella sua spessezza, ma se lo si piega sopra se stesso, tenendo conto se il margine ripiegato corrisponda alla sua faccia superiore od a quella inferiore, sarà facile il constatare che tutte le fibre nervose appartengono alla sola faccia o *superfice inferiore* di ciascun diaframma; e che le più grosse, avendo dei nuclei nel loro nevrilema che formano degli ingrossamenti, vi stanno attaccate per l'adesione di questi, mentre le più sottili vi aderiscono immediatamente, confondendosi le più tenui colla sostanza del diaframma medesimo.

Ecco frattanto la espressione visibile di una condizione assai differente nelle due superfici di ciascun diaframma, la quale apre la via per scoprire il modo di prodursi della elettricità animale;

(1) Neue Untersuchungen über den Bau und die Endigung der Nerven und die Struktur der Ganglien; von Rudolph Wagner. Leipzig 1847.

sapendosi per gli esperimenti che sono stati istituiti da diversi fisici e principalmente da Matteucci, che nella Torpedine il polo *positivo* corrisponde alla superfice *dorsale* dell'animale, ed il *negativo*, alla *ventrale*; d'onde segue naturalmente che la superfice *superiore* dei diaframmi elettrici, quella cioè priva di nervi è *positiva*, mentre la superfice *inferiore* alla quale stanno attaccate le fibre nervose è *negativa*.

Nel *Siluro* o Malapteruro elettrico del Nilo e del Senegal, l'organo elettrico ha tutt' altra apparenza che quella di una pila

Fig. II.

Organo elettrico del SILURO, di grandezza naturale.

Questa porzione di organo elettrico corrisponde alla parte *latarale-media* del tronco, ed è veduta in una *sezione verticale trasversa*, stando l' animale in posizione naturale.

AAA. *Pelle* che copre l' organo elettrico, cui aderisce fortemente.

BB. *Organo elettrico*, i cui diaframmi elettro-motori, intersecandosi, formano dei piccoli *alveoli ottaedri*.

CC. *Membrana fibrosa* fortissima, che limita profondamente l' organo elettrico, cui aderisce fortemente.

DD. *Spazio* quasi affatto libero, ripieno soltanto di un lassissimo e molle tessuto fibrillare nel quale scorrono orizzontalmente

n. il *nervo*,

a. l' *arteria*,

v. la *vena*, destinati ad una metà laterale dell' organo elettrico cui aderiscono: veduti troncati trasversalmente.

EE. *Strato adiposo* che circonda completamente e aderisce al tronco dell' animale, *isolandolo* dall' organo elettrico.

elettrica, giacchè i diaframmi o gli elementi elettromotori del Siluro invece di esser posti parallelamente gli uni di seguito agli altri come i dischi di una ordinaria pila voltiana, o come i diaframmi elettrici degli altri pesci fin qui conosciuti, si intersecano obliquamente fra loro, formando degli alveoli ottaedri, ripieni di un fluido albuminoso (Fig. 2ª BB). Io cercherò di indagare nel seguito la ragione di questa singolare eccezione che offre l'organo elettrico del Siluro nella disposizione intersecata piuttosto che parallela dei suoi elementi elettromotori: intanto avvertirò che le ricerche che ho pubblicate sull' organo elettrico di questo pesce (1), quantunque siano rimaste assai in-

(1) V. la mia Memoria *Sopra l' organo elettrico del Siluro elettrico del*

complete, pure io spero che se un giorno saranno conosciute, sebbene incomplete qual sono, serviranno a correggere molti errori che vedonsi tuttora ripetuti nelle opere moderne di Anatomia Comparata, specialmenle in ciò che riguarda la sua struttura, la origine dei suoi nervi, che come ho dimostrato costituiscono il primo pajo dei nervi rachitici, e finalmente il singolare strato adiposo (EE), che sta interposto fra l'organo elettrico ed il tronco dell'animale; il quale strato invece di essere un altro organo elettrico, come taluno ha creduto, non è che un mezzo isolante destinato a garantire l'animale dalla propria elettricità.

Nel *Mormyrus longipinnis* (Rüpp.), altro pesce del Nilo, A. Kölliker (1) ha trovato una tale struttura che fatta astrazione dalle circostanze secondarie di situazione, di estensione, ec. ec., l'organo elettrico di questo pesce si riduce allo stesso tipo di quello della Torpedine, cioè: dei diaframmi successivi e paralleli, riuniti in quattro serie o pile longitudinali, delle quali due in ciascun lato della coda, composte di 140 a 150 diaframmi ciascuna, e distanti l'uno dall'altro per un intervallo di $^{1}/_{10}'''$ a $^{1}/_{12}'''$, ripieno di un fluido albuminoso. La spessezza di questi diaframmi, molto maggiore che in quelli della Torpedine, mi fa credere che non abbiano una eguale semplicità, e che perciò si avvicinino alla gran complicanza di quelli del Gimnoto: il che potrà esser deciso da ulteriori osservazioni. Ciò che di più singolare si troverebbe nell'organo elettrico del Mormiro, è che le fibre o tubi nervosi che terminano nei diaframmi elettrici, secondo le osservazioni di Kölliker, presenterebbero nella loro parte terminale una materia gialliccia e trasparente, divisa in piccole masse successive di forma quadrilatera o rettangolare, in ciascuna delle quali si trovano uno, due o tre piccoli nuclei. Queste particolarità scoperte da Kölliker nei nervi esclusivamente dell'organo elettrico di questo pesce sono talmente straordinarie, che Kölliker stesso confessa che se non fosse stato per l'interesse della Scienza, non avrebbe ardito pubblicarle senza ulteriori ricerche.

Nel *Gymnarchus niloticus*, secondo Kölliker (2), l'organo elettrico è costrutto assai semplicemente e molto simile a quello del

Nilo, comparato a quello della Torpedine e del Gimnoto, e sull' Apparecchio di Weber nel Siluro comparato a quello dei Ciprini. Negli *Annali delle Scienze Naturali di Bologna,* Luglio 1846.

(1) *Berichte von der Königlichen zootomischen Anstalt zu Würzburg. Zweiter Bericht für das Schuljahr* 1847-48, *von Dr. A Kölliker.* Leipzig, 1849, pag. 9,

(2) Op. cit., pag. 10.

Mormyrus longipinnis: cioè si ridurrebbe al tipo ordinario di una pila, come quello della Torpedine, fatta astrazione dalle condizioni secondarie. Ma considerando che il *Gymnarchus* sembra avere negli ordini zoologici maggiore affinità con la famiglia dei Gimnoti che con quella dei Mormiri, perciò non sarebbe improbabile che la struttura intima dell' organo elettrico del Gimnarco presentasse qualche traccia dei due elementi elettro-motori che sono così distinti nei diaframmi elettrici del Gimnoto, come ora vado a mostrarlo (1).

(1) L'organo elettrico di altri pesci che si sono creduti dotati di proprietà elettriche, come il *Tetraodon electricus*, ed il *Trichiurus electricus*, non è per anche conosciuto, se pure sono dotati realmente di questa facoltà. Ultimamente però, oltre che nel *Mormyrus longipinnis*, il cui organo elettrico è stato scoperto da Rüppel, un organo simile è stato trovato da Gemminger di Monaco e da Erdl in altre due specie di Mormiri, cioè nel *Mormyrus oxyrincus*, e nel *Mormyrus dorsalis*.

Farò intanto osservare che a meno che un organo straordinario, di cui è ignota la funzione, non presenti ben distinto uno dei tipi conosciuti, come sembra che lo presenti in quelle specie di Mormiri, non puossi logicamente decidere che sia elettrico, senza averne prima constatati gli effetti. Dietro ciò è chiaro che hanno errato alcuni naturalisti i quali hanno considerato come un organo elettrico più o meno rudimentale il sistema dei *tubi mucosi* che trovansi in tutti i pesci condropterigi, compresa la torpedine; non solo perchè questi tubi non hanno la minima analogia con gli organi elettrici fin qui conosciuti, ma ancora perchè questi pesci non hanno mai dato alcun indizio di elettricità, eccettuata la torpedine: la quale essendo provvista, oltre all' organo elettrico, anche dei soliti tubi mucosi, perciò questo pesce sarebbe in quella ipotesi dotato dell'organo vero e del suo rudimento; il che è affatto insostenibile.

Similmente è accaduto a qualche altro naturalista di prendere i *muscoli splenii* della coda delle Razze per organi di quella natura. Si sa che in quasi tutti i vertebrati i muscoli splenii sono un poco più intensamente coloriti che gli altri muscoli, e che nei pesci si estendono a quasi tutta la lunghezza della colonna vertebrale. Essendo poi questi muscoli, specialmente nei pesci condropterigi, frequentemente intersecati da setti aponevrotici, perciò si ha avuto una ragione di più per considerarli come organi elettrici. Ma bastava una semplice osservazione microscopica per dileguare in un istante delle idee preconcette senza sufficente ragione.

Qui per altro debbo confessare, che se anch' io mi sono avventurato a considerare come organi elettrici i *Nuovi organi* da me scoperti nel corpo umano, e che presentemente sono generalmente conosciuti sotto il mio nome, ciò non è stato senza qualche ragione di cui non è ora luogo a parlare, e se non per altro motivo almeno per indirizzare le ricerche da farsi, onde confermare od escludere la ipotesi avanzata da me. Fin ora è vero, gli esperimenti intrapresi in questa veduta da due celebri fisiologi Henle e Kölliker non sono stati troppo favorevoli a questa ipotesi; ma io ricorderò che, nell' ultima mia Memoria pubblicata a Pistoja nel 1840, aveva già fatto pre-

J. Hunter (1), e Knox (2), hanno a bastanza chiaramente descritte le ordinarie particolarità di conformazione generale dell'organo elettrico del Gimnoto; onde per tali dettagli rimando a questi autori, dovendomi limitare principalmente alla struttura intima di questo organo singolare.

La grande complicanza dell'organo elettrico del Gimnoto è stata appena traveduta per la prima volta dall'illustre Prof. Mayer di Bonn, come l'ha rappresentata in una figura incompleta: e quantunque egli presumesse che l'organo elettrico dei diversi pesci dovesse essere costrutto a similitudine di una pila voltiana, pure credè che le indagini microscopiche non fossero state fin'ora troppo favorevoli a questa veduta. *Hunc ad finem*, egli dice, *structura opus esse organi pilae galvanicae analoga verisimile est, quamquam huic sententiae microscopica disquisitio organi electrici non omnino favere videtur; siquidem in organo electrico Gymnoti strata septis separata observanda extent majora, in Torpedine autem septa illa minimis aut nullis quasi interstitiis interpositis decurrant* (3). A questo soltanto si riduce

sentire che coi mezzi fin qui conosciuti non si avrebbe potuto constatare alcuna elettricità libera in organi, che se sono realmente elettrici, per la loro speciale conformazione, la loro elettricità deve essere necessariamente dissimulata o latente, giacchè uno dei loro poli è affatto chiuso e nascosto nel centro dell'organo, ove termina una sola fibra nervosa elementare, presupposta da me, e posta nella più chiara evidenza da Henle e Kölliker. Essendo dunque uno dei due poli di questi organi affatto inaccessibile al reoforo del galvanometro senza distruggere al tempo stesso l'organo intero, non è da meravigliare che Henle e Kölliker non abbiano ottenuto alcun indizio certo di elettricità libera; il che invece di infirmare le mie vedute, anzi le conferma e già da molti sono state adottate, ed Henle e Kölliker non le hanno abbandonate. Del resto, mentre io spero di tornare in altra occasione su questo singolare argomento, che fin'ora ho forse troppo lasciato in disparte, chi vorrà intanto conoscere da quali dati io mi sia partito, e come sia giunto al concetto di una funzione *elettro-magnetica* di questi organi, potrà consultare l'ultima mia Memoria, o quella assai più completa di Henle e Kölliker, nella quale in seguito alle mie osservazioni riportano le loro, degne del più grande interesse. — V. *Nuovi organi scoperti nel corpo umano da Filippo Pacini*; Pistoja 1840. — *Über die Pacinischen Körperchen an den Nerven des Menschen und der Säugethiere*; von J. Henle und A. Kölliker. Zürich 1844. — Potrà vedersi ancora la traduzione francese di questa Memoria di Henle e Kölliker, inserita per intero nell'opera intitolata: *Etudes sur l'elettricité*, par C. Beckensteiner. Paris 1847 e seg.

(1) *Philosophical Transactions, ec.*, vol. 65 (1775) pag. 395. — *Oeuvres completes* de J. Hunter, tom. 4°, pag. 518. Paris 1843.

(2) *Edin. Journal of Science*, 1824, e *Raccolta di opere mediche*, ec., Bologna 1828, tom. 6°, pag. 134.

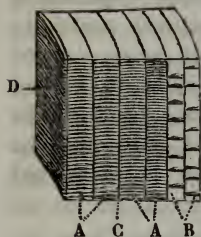
(3) *Spicilegium observationum anatomicarum de Organo electrico in Rai anelectricis, et de Haematozois.* Bonnae 1843, pag. 8.

ciò che dice Mayer dell' organo elettrico del Gimnoto, e la figura che ne ha pubblicata è a bastanza incompleta per mostrare che egli non ha distinti in ciascun diaframma elettrico i due elementi di una *coppia voltiana.*

Esponendo frattanto il resultato delle mie particolari osservazioni sulla struttura intima dell' organo elettrico di questo pesce, debbo prima di tutto avvertire che per rendere più facilmente comparabile sì la descrizione che le figure dell' organo elettrico del Gimnoto, con ciò che abbiamo esposto di quello della Torpedine, considerata nella sua natural posizione orizzontale, noi considereremo invece il Gimnoto come *tenuto sospeso verticalmente* con la testa in alto e la coda in basso; essendo che in tal guisa si nella Torpedine che nel Gimnoto la corrente elettrica ha una *direzione verticale,* col polo positivo in alto (cioè sul *dorso* nella Torpedine, e verso la *testa* nel Gimnoto), ed il negativo in basso, ec. (1)

(1) Queste osservazioni sono state fatte sopra due piccoli frammenti di organo elettrico, del volume presso a poco di un centimetro cubo; che io debbo alla bontà del mio amico, il Dott. Cesare Studiati, abilissimo Dissettore di Anatomia Comparata al Museo di Storia naturale della Università di Pisa. Sopra una parte così piccola e senza aver presente l' animale intero, ognuno comprenderà che io ho dovuto limitarmi alla sola struttura microscopica, quando anche la struttura grossolana non fosse stata, come lo è, abbastanza conosciuta. In oltre debbo avvertire che queste osservazioni si riferiscono soltanto al *grande organo elettrico* del Gimnoto, non avendo potuto avere un frammento del *piccolo organo elettrico*, che probabilmente non differisce essenzialmente dal primo. Del resto le singolarità di struttura che io ho scoperte nell' organo elettrico del Gimnoto sono tali, che per maggiore garanzia di non essermi ingannato, debbo dichiarare che ne ho rese testimoni diverse persone distintissime e conosciute, fra le quali posso citare il Dott. Studiati sopra rammentato, l' illustre Prof. Mazzi ed altri naturalisti del Museo di Storia Naturale di Firenze, il chiarissimo Prof. Tommasi di Napoli, ed ultimamente nell' agosto e nel settembre, i chiarissimi naturalisti Prof. A. Kölliker di Würzburg, e Prof. F. C. Schmid di Monaco (Baviera), i quali particolarmente mi hanno impegnato a non differire ulteriormente la pubblicazione di queste osservazioni. Frattanto io spero che quanto esporrò potrà essere facilmente verificato da chiunque abbia a disposizione un Gimnoto conservato anche da molto tempo nell' alcool; giacchè i frammenti di quest' organo che ho potuto ottenere, erano stati nell' alcool già da varii mesi, ed ora è quasi un anno che gli conservo senza che siasi alterata la struttura che ho descritta. Finalmente avvertirò che per fare una conveniente preparazione come quella rappresentata dalla fig. 4ª è necessario il *discotomo* di Valentin, e per facilitare le manovre dell' oggetto microscopico sarà sempre di grande utilità il mio *Compressore,* descritto col mio *nuovo Microscopio* negli *Annali delle Scienze Naturali* di Bologna, novembre 1845.

L'organo elettrico del Gimnoto (Fig. 3ª) è costituito essenzialmente di una infinità di lamine sottilissime che io chiamerò *diaframmi elettrici* (A, A) per analogia con quelli della Torpedine, giacchè sì gli uni che gli altri comprendono i veri *elementi elettromotori* dell'organo. Questi diaframmi posti paralellamente l'uno sopra

Fig. III.

Organo elettrico del GIMNOTO, ingrandito il doppio del diametro naturale.

L' animale è considerato *sospeso verticalmente* con la testa in alto e la coda in basso.

Il piano di sezione che si presenta in avanti riguarda la faccia *laterale* dell' animale, e vi si osservano le parti seguenti.

A, A. Quattro *serie* di *diaframmi elettrici* ordinarii, veduti di profilo per la loro *larghezza*.

B. Due *serie* di diaframmi elettrici *anormali*.

C. *Setto aponevrotico* che separa una serie dall' altra sostenendo i diaframmi elettrici. Questo e gli altri setti vedonsi continuare sul piano di sezione superiore che riguarda la *testa*.

D. Piano di sezione che guarda la faccia *dorsale* dell' animale: su questo piano vedonsi i diaframmi elettrici di profilo per la loro *lunghezza*.

l' altro e ad eguale distanza fra loro, sono sostenuti e mantenuti in questa posizione da molti sottili *setti aponevrotici* (C), dei quali parleremo in primo luogo; giacchè essi determinano la estensione, la forma e la posizione dei diaframmi elettrici.

I setti aponevrotici (Fig. 3ª C) che sostengono i diaframmi elettrici del Gimnoto, descritti assai esattamente da J. Hunter e da Knox, sono membranelle fibrose estese longitudinalmente dall'abdome alla estremità della lunga e grossa coda di questo pesce, le quali attaccandosi per un lato al gran setto mediano, si estendono esternamente, divergendo un poco le une dalle altre, finchè giungano alla pelle, alla quale si attaccano per l' altro lato. Gli intervalli di questi setti longitudinali, sono occupati dai diaframmi elettrici, il piano dei quali è perpendicolare al piano dei setti, e nel tempo stesso è normale o trasversale all' asse longitudinale dell' animale intero. Da ciò segue che mentre la distanza dei setti misura la larghezza dei diaframmi, la larghezza dei primi misura la lunghezza dei secondi; onde i diaframmi elettrici resultano di una forma quadrilatera molto allungata.

I piani dei setti essendo un poco divergenti dalle parti profonde alla pelle, perciò la loro distanza, o la larghezza dei diaframmi che vi sono compresi, è alquanto varia, essendo minore secondo Hunter verso le parti profonde e maggiore verso le parti superficiali. Io ho trovato variare questa distanza dei setti, o la

larghezza dei diaframmi, da 1 a 3 millimetri nei due frammenti di organo elettrico che ho esaminati.

La spessezza dei setti i più comuni, d' ordinario è poco considerabile, essendo termine medio di circa $0{,}025^{mm}$ a $0{,}030^{mm}$; ma in qualche parte se ne trovano ancora dei molto più grossi, ai quali si attaccano obliquamente molti setti più sottili. Tutti questi setti sono formati di fascetti di tessuto fibrillare o tendinoso, che hanno l' apparenza di tanti piccoli nastri, i quali intessendosi si incrociano più o meno obliquamente fra loro. Nella spessezza di questi setti scorrono le diramazioni vascolari e nervose di mediocre volume (Fig. 4ª F), quasi parallelamente al piano dei diaframmi, mentre nel loro tragitto mandano delle sottilissime diramazioni nei prossimi diaframmi elettrici. Ad ambedue le faccie o superfici dei setti aponevrotici si attaccano i margini dei diaframmi elettrici nel modo che avremo luogo di osservare; ed in generale i diaframmi elettrici che si attaccano sopra una faccia di un setto trovansi presso a poco al medesimo livello di quelli che si attaccano all' altra faccia, ma non è raro di vedere che in altri punti si attaccano ad un livello differente: il che mostra che i primi sono affatto indipendenti dai secondi.

I moltiplici *diaframmi elettrici*, che trovansi compresi fra' due setti prossimi costituiscono una *serie di diaframmi*, e le diverse serie sono estese nella direzione longitudinale dall' abdome alla estremità della lunga e grossa coda. Generalmente i diaframmi di una medesima serie conservano la più grande uniformità, ma possono offrire delle considerabili differenze da quelli di una serie più o meno prossima. Le diverse serie di questi diaframmi sono evidentemente analoghe a quelle costituite dai diaframmi dei prismi dell' organo elettrico della Torpedine, e sì le une che le altre possono considerarsi come altrettante piccole *pile elettriche* distinte e indipendenti.

Secondo Hunter i diaframmi elettrici del Gimnoto sono così numerosi che nella estensione di un pollice (inglese) ne sono compresi 240. È singolare che Knox ne abbia contati precisamente lo stesso numero in eguale estensione, quantunque il Gimnoto da lui dissecato fosse più piccolo di quello dissecato dall' Hunter. Ma non perciò questo numero può esser costante, giacchè se varia nelle diverse parti del medesimo organo elettrico, molto più deve variare in diversi individui. Di fatto avendo io preso diverse misure col micrometro del microscopio ho trovato non poche differenze a questo riguardo; ma è da osservarsi che queste differenze (per quanto mi è dato rilevare da due piccoli frammenti di organo elettrico) sono relative piuttosto alle diverse serie di diaframmi che ai diversi punti di una medesima

serie, giacchè in ogni serie di diaframmi vi ho riscontrata la più grande e quasi geometrica uniformità. Così in tre diverse serie, 10 diaframmi occupavano respettivamente uno spazio $=0,715^{mm}$; $1,530^{mm}$; $1,765^{mm}$; mentre la valutazione di Hunter e Knox ridotta in millimetri dà per 10 diaframmi $1,054^{mm}$. Da questi diversi numeri, dividendoli per 10, può facilmente dedursi lo spazio corrispondente a ciascun diaframma, compreso il suo piccolo intervallo da quello successivo.

In alcune altre serie poi i diaframmi elettrici gli ho trovati così distanti e così irregolari (Fig. 3ª B) che 10 di questi oc-

Fig. IV.

Organo elettrico del Gimnoto, ingrandito 150 diametri.

L'animale è considerato *sospeso verticalmente* con la testa in alto e la coda in basso.

La presente figura mostra 3 *diaframmi* di 3 *serie* distinte, e separate l'una dall'altra per due *setti aponevrotici* MN, MN. — Questi diaframmi sono veduti per la loro *larghezza*. — Nella prima e nella terza serie si vede il principio o il termine dei tre diaframmi. Nella serie di mezzo i tre diaframmi sono completi; se non che la loro larghezza è ridotta ad $^1/_3$ del naturale.

ABC. *Corpo cellulare*, composto di

A. *Cellule superiori*, che si elevano nello *spazio sopra-cellulare*.

B. Parte *fondamentale* o piano del corpo cellulare:

C. *Cellule inferiori*, e *Prolungamenti spiniformi*, che discendono nello *spazio sotto-cellulare*.

D. *Lamella fibrillare*.

E. *Cellule marginali*, superiore ed inferiore, applicate e aderenti alla superfice dei setti aponevrotici.

F. Nervo e vasi sanguigni che scorrono nella spessezza dei setti aponevrotici, troncati trasversalmente.

cupavano uno spazio di 3 ad 11 millimetri, il che per altro dipendeva più dai grandi intervalli di questi diaframmi che dalla loro spessezza. Questi diaframmi irregolari che io chiamerò *anormali*, erano inoltre alquanto meno larghi di quelli comuni. La considerabile distanza di questi diaframmi mi ha permesso di constatare alcune particolarità importanti di cui parlerò in appresso.

Intanto avvertirò che per dare una idea esatta delle proporzioni delle diverse parti componenti i diaframmi elettrici, ho dovuto attenermi a valutarle e disegnarle ingrandite (Fig. 4ª, 5ª, 6ª) sopra una delle più comuni serie, nella quale 10 diaframmi occupavano lo spazio di 1,530^{mm}. Quanto alle altre serie di diaframmi, le proporzioni delle loro parti principali possono considerarsi presso a poco in rapporto diretto colla variabile spessezza dei diaframmi che ho sopra accennata: dal che per altro dobbiamo eccettuare i diaframmi *anormali*, dei quali accennerò le particolarità più importanti a misura che se ne presenterà l' occasione.

Prendendo ora a considerare i diaframmi elettrici in particolare, farò prima di tutto notare come (per le esperienze di Faraday sul Gimnoto) il polo positivo trovandosi verso la testa dell' animale, ed il negativo verso la estremità della coda, resulta naturalmente che la faccia *superiore* dei diaframmi elettrici è *positiva*, mentre la *inferiore* è *negativa*; cioè nello stesso modo che nella Torpedine, avendo dato al Gimnoto la posizione convenuta. Dietro ciò potremo riconoscere qual sia la parte positiva o negativa di questi diaframmi a misura che ce ne occuperemo.

I diaframmi elettrici del Gimnoto (Fig. 4ª), in confronto di quelli della Torpedine hanno una tale spessezza e complicanza da far meraviglia. Ciascuno di essi si compone di due principali parti distintissime e diversissime, l' una sovrapposta all' altra; cioè di una parte che io chiamerò *il corpo cellulare* (ABC), e di una membranella che io chiamerò *lamella fibrillare* (D).

Il *corpo cellulare* si compone di una *parte fondamentale* e di *appendici cellulari*. La *parte fondamentale* (B) ha la forma di una grossa lamina ondulata, di spessezza variabile, che termine medio può valutarsi di circa 0,010^{mm}, ma che può variare dal doppio alla metà. Questa parte fondamentale apparisce affatto omogenea e trasparente, e sostanzialmente identica con molte appendici o *cellule* che sorgono dalla sua faccia superiore, e con altre cellule simili, ed altri prolungamenti che discendono dalla sua faccia inferiore.

Le *cellule superiori* (A) sono costituite da una infinità di

rigonfiamenti o intumescenze della parte fondamentale del corpo cellulare, colla quale alla loro base si continuano senza linea di demarcazione. La forma di queste cellule, sommamente variabile, non può essere convenientemente apprezzata se non che osservandole successivamente *di profilo* in una *sezione verticale* al piano dei diaframmi (Fig. 4ª A), e quindi *di prospetto* sopra un diaframma elettrico *disteso in piano* (Fig. 5ª AB): allora confrontando l'aspetto diverso che presentano in questi due casi

Fig. V.

Porzione di un *diaframma elettrico* del GIMNOTO, disteso in piano, e veduto per la sua *faccia superiore*. Ingrandimento, 150 diametri.

AB. *Corpo cellulare*, ove si vede *la base* allungata e contorta delle *cellule superiori*.

BC. *Margine naturale longitudinale* del corpo cellulare, ove si vede la gran *cellula marginale superiore* che nella figura IV vedesi in E di profilo.

AD. *Lamella fibrillare*, messa a scoperto dopo avere tolta una porzione del corpo cellulare.

N. Fascetto di tre *fibre nervose elementari*, che si biforcano.

si giunge alla convinzione che esse hanno generalmente la forma di altrettante *creste di gallo*, a base stretta ed allungata, più o meno ripiegate sopra se stesse o, come si direbbe, accartocciate. Questo accartocciamento che molte di esse presentano, e che si rivela soprattutto nella forma contorta ad S, o ad arco della loro base, ha evidentemente per effetto di impedire che esse si rovescino da un lato o dall'altro, vista la loro altezza considerabile, e la ristrettezza della loro base allungata; la quale generalmente è diretta nel senso della lunghezza dei diaframmi elettrici.

Queste cellule hanno nella loro parte superiore molti *nuclei* (Fig. 4ª) del diametro di circa 0,005^{mm}, i quali vedonsi projettati sulla loro base, allorquando si osservano sopra un diaframma elettrico disteso in piano (Fig. 5ª). A questi nuclei corrispondono d'ordinario altrettanti piccoli rigonfiamenti mammillari del margine libero delle cellule crestoidi (Fig. 4ª), i quali rigonfiamenti sono altrettante intumescenze di queste, nello stesso modo che queste sono altrettante intumescenze della parte fondamentale del

corpo cellulare. La quantità di questi nuclei, la quale non può valutarsi che sulla base di queste cellule (Fig. 5ª) è sommamente variabile, ma generalmente è proporzionata alla grandezza della base; ed io ne ho contati da 3 fino a 20 entro la periferia di una medesima cellula che aveva una proporzionata grandezza.

L'altezza di queste cellule è molto uniforme sia in un medesimo diaframma, sia in una medesima serie di diaframmi elettrici, ma varia in altre serie, e termine medio può valutarsi di circa 0,060mm. Giammai queste cellule giungono a toccare il diaframma sopraposto, essendovi costantemente un intervallo di circa 0,015mm. Questo intervallo, sommato all'altezza delle cellule, dà la distanza fra il piano del corpo cellulare e il diaframma sopraposto, cioè 0,075mm. Questa distanza rappresenta l'intero spazio che separa un diaframma dall'altro; spazio ripieno di un fluido, nel quale sorgono le cellule superiori.

Quanto alle altre dimensioni di queste cellule, non possono valutarsi che sulla loro base, veduta sopra un diaframma disteso in piano (Fig.5ª): ma qui non trovasi altro di positivo se non che una delle dimensioni della base di queste cellule predomina sempre più o meno sull'altra; e mentre il diametro minore può variare da 0,018mm a 0,025mm, invece il diametro maggiore varia frequentemente da 0,030mm a 0,150mm e più ancora. Fra tanta varietà di dimensioni e di forme della base di queste cellule mi è stato sommamente difficile il fissare *un termine medio;* pure dopo molte misurazioni e confronti ho potuto stabilire, che una cellula di media grandezza è provvista di 6 nuclei, il suo *diametro minore* è di 0,020mm, ed il *maggiore* di 0,080mm. Quanto poi agli *intervalli* che passano fra una cellula e l'altra ho potuto egualmente stabilire che termine medio sono di 0,008mm.

Con questi dati si può ora calcolare il numero di queste cellule sopra una data superfice del corpo cellulare, e la quantità di *superfice che aggiungono* a quella del piano del corpo cellulare medesimo, sul quale sorgono. Ognuno comprenderà la importanza di questa ricerca, sapendosi che *la quantità* della elettricità in parità di circostanze è proporzionata alla estensione delle superfici elettromotrici: e qui non trascurerò di fare osservare il modo ingegnoso col quale la natura, nella economia di spazio disponibile, ha potuto ottenere la più gran quantità di superfice possibile, dando cioè a queste cellule una forma depressa o crestoide, invece che attondata o cilindroide; nel qual caso *la superfice aggiunta* sarebbe stata minore. Ora dai miei calcoli ho rilevato che sopra un millimetro quadrato esistono 405 cellule compresi gli intervalli; e che una parte qualunque del

corpo cellulare riceve per la presenza di queste cellule una aggiunta di superfice eguale a 4 volte e 0,87 quella su cui sorgono, sicchè questa superfice diventa 5 a 6 volte maggiore (1).

Nei diaframmi *anormali* (Fig. 3ª B) la forma e le dimensioni delle cellule superiori variano estremamente, e mentre l'altezza di queste cellule nei diaframmi normali è tanto uniforme, invece nei diaframmi anormali è così varia che frequentemente presso a delle cellule che hanno una altezza di $0{,}015^{mm}$ se ne elevano altre che giungono fino a $0{,}180^{mm}$ e più. Queste ultime d'ordinario hanno la forma di una lunga clava. Ma non ostante questa considerabile altezza neppur esse giungono mai a toccare il diaframma sopraposto, per la considerabile distanza che passa fra un diaframma e l'altro, la quale giunge talvolta fino a $0{,}700^{mm}$.

Le *cellule inferiori* (Fig. 4ª C), le quali discendono dalla faccia inferiore del corpo cellulare, sono più piccole e più rare

(1) Per dare una idea del metodo che ho tenuto onde giungere a questi resultati, riporterò qui le relative formule algebriche, dalla analisi delle quali, facilmente potrà essere rilevato. Sia $s^2 = 1^{mmq}$ una data superfice del corpo cellulare; il diametro minore della base di una cellula sia $B = 0{,}020^{mm}$; il diametro maggiore sia $NB = 0{,}080^{mm}$, d'onde $N = 4$; finalmente l'intervallo fra una cellula e l'altra sia $C = 0{,}008^{mm}$. Dietro ciò avremo il numero delle cellule sulla superfice di un millimetro quadrato, espresso da $\frac{s^2}{(NB+C)(B+C)} = 405$.
Quanto poi alla superfice che aggiungono queste cellule, essendo la loro altezza $A = 0{,}060^{mm}$, abbiamo che la *superfice aggiunta* da esse è $= As^2 \frac{2B(N+1)}{(NB+C)(B+C)} = 4{,}87^{mmq}$.

Se queste cellule avessero avuta una forma attondata, o cilindroide, allora al perimetro $2B(N+1)$ sostituendo la periferia circolare πD, e rilevando il valore del diametro D dalla equazione $\frac{\pi D^2}{4} = NB^2$, d'onde $D = \frac{2B\sqrt{N}}{\sqrt{\pi}}$; avremmo avuto in questo secondo caso il valore della *superfice aggiunta* $= As^2 \frac{2B\sqrt{(N\pi)}}{(NB+C)(B+C)} = 3{,}54^{mmq}$.

È evidente dunque che se queste cellule avessero avuta, secondo le ordinarie leggi di natura, una forma attondata piuttosto che depressa, o crestoide, la superfice aggiunta da esse sarebbe stata minore.

Per convincersene in un modo più generale basta confrontare le due precedenti formule della superfice aggiunta, nelle quali si vede che solamente il coefficiente $(N+1)$ è diverso dal coefficiente $\sqrt{(N\pi)}$. Ora che $N+1 > \sqrt{(N\pi)}$, si rende più evidente riducendo questa ineguaglianza alla forma $N + \frac{1}{N} > \pi - 2$.

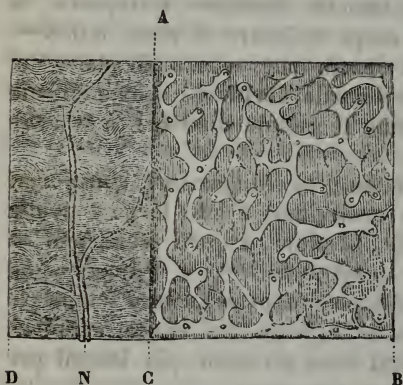
che le superiori. Esse hanno d'ordinario una figura mammillare, spesso anche claviforme, talvolta crestoide come le superiori, e come queste contengono un piccolo nucleo eguale, talvolta due o tre, raramente più, situato verso la loro estremità libera. Il diametro di queste cellule varia da $0{,}009^{mm}$ a $0{,}030^{mm}$. La loro base, ossia il punto ove si continuano col piano del corpo cellulare trovasi in alto, ed è alquanto più larga del diametro accennato. La loro lunghezza o altezza generalmente minore di quella delle cellule superiori, varia da $0{,}015^{mm}$ a $0{,}050^{mm}$; sicchè alcune giungono molto prossime alla lamella fibrillare *sottoposta*, la quale è distante dal piano del corpo cellulare di circa $0{,}058^{mm}$. Questa distanza rappresenta lo spazio che separa il piano del corpo cellulare dalla *sottoposta* lamella fibrillare: spazio ripieno di un fluido, nel quale discendono le cellule inferiori e le altre appendici.

Queste appendici sono altrettanti *prolungamenti spiniformi* (Fig. 4ª C) del corpo cellulare medesimo, a base larga e rivolta in alto come quella delle cellule inferiori, i quali scendendo in basso si fanno sottilissimi fino quasi $0{,}001^{mm}$, e giungono ad attaccarsi tutti alla lamella fibrillare sottoposta. La loro lunghezza resulta presso a poco eguale alla distanza del corpo cellulare dalla lamella fibrillare, ma alcuni sono un poco più lunghi per la loro direzione alquanto obliqua o tortuosa.

Questi prolungamenti spiniformi sono evidentemente destinati a mantenere unito a distanza il corpo cellulare alla lamella fibrillare sottoposta, impedendo che nei diversi movimenti dell'animale una di queste due parti di un dato diaframma, allontanandosi dall'altra, giunga a toccare i prossimi diaframmi. Difatto nelle serie dei diaframmi *anormali*, essendo questi meno larghi e molto distanti, fin quasi 1 millimetro, i prolungamenti spiniformi sono più rari; giacchè è quasi impossibile che una delle due parti di questi diaframmi si allontani tanto dall'altra da giungere a toccare il diaframma successivo. Malgrado ciò, la distanza del corpo cellulare dalla sottoposta lamella fibrillare dei diaframmi *anormali* si mantiene assai costante, quantunque sia quasi doppia di quella dei diaframmi normali, mentre la distanza fra un diaframma anormale e l'altro successivo è sommamente variabile (Fig. 3ª B): ciò mostra che se un diaframma è assai indipendente da quello successivo, sono invece strettamente solidali le due parti componenti un medesimo diaframma, non altrimenti che le parti componenti una *coppia voltiana*.

Osservando il corpo cellulare sulla sua faccia *inferiore* (Fig. 6ª AB) si vedono una gran quantità di particolari forma-

zioni, che bene esaminate, facilmente si riconosce non essere altro che la base più o meno orizzontalmente prolungata delle cellule inferiori e dei prolungamenti spiniformi, che appariscono projettati sul piano del corpo cellulare. Di fatto molte di queste formazioni vedonsi terminate ottuse, offrendo nell'interno un piccolo nucleo, come le cellule inferiori; altre poi terminano acute come i prolungamenti spiniformi.

Fig. VI.

Porzione di un *diaframma elettrico* del GIMNOTO, disteso in piano, e veduto per la sua *faccia inferiore*. Ingrandimento, 150 diametri.

AB. *Corpo cellulare*, messo a scoperto dopo avere tolta una porzione della lamella fibrillare; ove si vede *la base* allungata e contorta delle *cellule inferiori* e dei *prolungamenti spiniformi*.

BC. *Margine naturale longitudinale* del corpo cellulare, ove si vede la gran *cellula marginale inferiore*, che nella figura IV vedesi in E di profilo.

AD. *Lamella fibrillare.*

N. Fascetto di due *fibre nervose* elementari, che si biforcano.

Anche queste cellule inferiori e prolungamenti spiniformi discendendo dalla faccia inferiore del corpo cellulare ne aumentano alquanto la superfice. E sebbene la determinazione di questo aumento sia più difficile che quella delle cellule superiori, per la gran varietà di forme e di dimensioni che presentano, pure si può ritenere, che presso a poco rendano quasi doppia la estensione della superfice dalla quale discendono.

Il corpo cellulare, come abbiamo veduto, è in gran parte libero sulle sue due facce, e solamente è *connesso a distanza* colla lamella fibrillare sottoposta per mezzo dei prolungamenti spiniformi. Oltre questi mezzi di unione che assicurano una certa fissità al corpo cellulare, esso è fissato ancora solidamente sui lati ai setti aponevrotici di che abbiamo sopra parlato. A tale effetto, dai margini laterali del corpo cellulare si dipartono ad angolo retto due grandi cellule crestoidi marginali, l'una superiore, l'altra inferiore (Fig. 4ª E), le quali prolungandosi in tutta la estensione di ciascun margine, tanto sulla faccia superiore che sulla faccia inferiore (Fig. 5ª e 6ª BC), costituiscono una estesa

superfice per la quale i margini del corpo cellulare trovano un mezzo di adesione ai setti aponevrotici, più esteso e più sicuro. Alcuna volta per altro, ho veduto nello eseguire le preparazioni anatomiche, rompersi questa adesione in qualche punto, ma d' ordinario resisteva maggiormente verso la estremità libera delle due cellule. In tal guisa è perfettamente assicurata una completa separazione fra i due spazii superiore ed inferiore, fra i quali è interposto il piano del corpo cellulare.

Il corpo cellulare, le sue cellule e le altre appendici, resultano evidentemente di una sottilissima parete membranosa, la cui spessezza può valutarsi di circa 0,0017^{mm}; ed inoltre di un contenuto perfettamente trasparente, omogeneo, senza traccia di granulazioni, e di un colore gialliccio-chiaro. Allorchè si taglia il corpo cellulare con una sezione verticale al piano dei diaframmi (come nella Fig. 4^{a}), e si cerca poi di distaccare l' uno dall' altro i diaframmi elettrici, spesso accade che la parte fondamentale del corpo cellulare si divide orizzontalmente in due porzioni o in due piani secondarii, dei quali il superiore appartiene alle cellule superiori, e l' inferiore alle cellule inferiori. Nell' intervallo della separazione si vedono allora i frantumi della sostanza trasparente che riempie tutto il corpo cellulare, prolungandosi nelle sue cellule e nelle altre appendici: sicchè allora si può riconoscere che questa sostanza è concreta (almeno dopo essere stata nell' alcool) come una colla trasparente, molle e frangibile. In apparenza questa sostanza sembra della stessa natura di quella che riempie la vessicola dei così detti *corpuscoli gangliari,* fatta astrazione dalle loro granulazioni; e forse anche può darsi che abbia analogia con quella sostanza segnalata da Kölliker nella estremità periferica dei nervi elettrici del *Mormyrus longipinnis:* il che può solo resultare da un confronto immediato.

La *lamella fibrillare* (Fig. 4^{a} D), che rappresenta la superfice *inferiore* o *negativa* dei diaframmi elettrici è attaccata sui margini ai *setti aponevrotici*, coi quali si continua essendo della loro stessa natura. La sua spessezza è di circa 0,010^{mm}. La sua faccia superiore (Fig. 5^{a} AD) è coperta, *a distanza*, dal corpo cellulare restandovi uno spazio intermedio ripieno di un fluido, nel quale si trovano le cellule inferiori e i prolungamenti spiniformi. La faccia inferiore della medesima (Fig. 6^{a} AD) è rivolta verso il diaframma sottoposto, restando a piccola distanza dalle cellule superiori di questo. Questa lamella è formata di una infinità di fibrille tendinose, più o meno ondulate, ed alquanto fra loro intralciate, le quali generalmente sono dirette nel senso della lunghezza dei diaframmi elettrici, o almeno poco oblique

da questa direzione. Perciò allorquando si osserva questa lamella di profilo e tagliata trasversalmente come nella Fig. 4ª, le fibrille delle quali è composta, presentando la loro estremità troncata, appariscono come altrettanti piccolissimi punti. La contestura di queste fibrille sembra costituire quasi *un feltro*, nel quale gli interstizii fibrillari restano permeabili, giacchè, per quante ricerche abbia fatte, non mi è riuscito trovare alcuna sorta di epitelio sulle superfici libere di questa membrana.

La lamella fibrillare è la sola parte dei diaframmi elettrici, nella quale terminano i *vasi* ed i *nervi* proprii dell'organo elettrico del Gimnoto. Noi abbiamo già detto come questi vasi e nervi scorrono da prima nella spessezza dei setti aponevrotici (Fig. 4ª F) paralellamente ai piani dei diaframmi, di modo che strada-facendo mandano in questi delle sottili diramazioni.

Quanto ai *vasi* in particolare, si comprenderà facilmente come io non abbia potuto eseguire una injezione in un piccolo frammento di organo elettrico; per conseguenza non posso dire altro che di avere veduta qualche traccia di vasi capillari nella lamella fibrillare, ove la moltiplicità delle sue fibrille proprie impedisce di distinguere chiaramente dei vasi capillari vuoti. Però possiamo ritenere che se dei vasi capillari penetrassero, sia nel corpo cellulare, sia negli spazii che separano questo dalla lamella fibrillare soprapposta o sottoposta, nulla di più facile sarebbe che distinguerli ancorchè vuoti, per la trasparenza del corpo cellulare e della sostanza che riempie quegli spazii: essi dunque si limitano a distribuirsi coi nervi nella lamella fibrillare soltanto, ove certamente somministrano i materiali della secrezione dei due fluidi che riempiono quegli spazii; sicchè il corpo cellulare trarrebbe il suo nutrimento da questi due fluidi, fra' quali trovasi immerso.

I *nervi* dell'organo elettrico del Gimnoto, si sa che come diramazioni dei nervi rachitici vengono da quasi tutta la midolla spinale, e percorrendo verticalmente le due facce del gran setto mediano, mandano dei rami nei setti aponevrotici dell'organo elettrico, dai quali dei rametti più piccoli penetrano nei diaframmi elettrici. Le fibrille di questi nervi sono più facili a distinguersi che i vasi capillari vuoti, giacchè oltre alla maggiore refrazione che producono sulla luce, portano un carattere che si rende anzi evidente dopo che i nervi sono stati da molto tempo nell'alcool; cioè offrono manifestissimo il *cilinder axis*, se non in tutta la lunghezza, almeno per lunghi tratti della loro estensione. Dietro ciò ho potuto constatare che le fibre di questi nervi penetrano dai setti aponevrotici nella lamella fibrillare dei diaframmi (Fig. 5ª e 6ª N) riunite in piccoli fascetti di due a tre fibre, le quali sul margine laterale della lamella fibrillare hanno

un diametro di $0{,}006^{mm}$ ad $0{,}008^{mm}$. Queste fibre nervose penetrando nella spessezza della lamella fibrillare, seguono generalmente una direzione trasversale alla sua lunghezza incrociando le sue fibrille tendinose; e ben presto spargendosi e biforcandosi, prendono un diametro alquanto minore, cioè di $0{,}004^{mm}$ a $0{,}006^{mm}$, mentre percorrono lunghi tratti, isolate dalle altre fibre nervose. Io ho potuto pienamente convincermi della biforcazione di queste fibre, che si fa ad angolo poco meno che retto; ed ho inoltre constatato fino a tre successive biforcazioni sopra una medesima fibra, alla distanza l' una dall' altra di circa $0{,}500^{mm}$: mentre ho potuto seguire un ramo di una di queste fibre biforcate fino al margine opposto della lamella fibrillare, ove questo ramo rientrava in un fascetto nervoso.

La distribuzione di queste fibre nervose nella sola lamella fibrillare, che rappresenta la *superfice negativa* di ciascun diaframma elettrico del Gimnoto, è un fatto della più grande importanza, giacchè si verifica lo stesso anche nella Torpedine, nella quale come abbiamo veduto, le fibre nervose si distribuiscono soltanto sulla *superfice negativa* di ciascun diaframma. Ma un fatto comparativo inverso, e della più grande significazione, è la gran quantità delle fibre nervose nei diaframmi elettrici della Torpedine, e la loro scarsità in quelli del Gimnoto. Questa differenza che potrebbe sembrare relativa, per il gran volume che ha l' organo elettrico del Gimnoto in confronto di quello della Torpedine, è anzi una *differenza assoluta,* giacchè secondo Hunter, se tutti i nervi elettrici della Torpedine fossero riuniti, formerebbero *un fascio assai più grosso,* che l' insieme di tutti quelli analoghi del Gimnoto (*Oeuv. compl.,* T. 4°, pag. 524). Questo fatto significantissimo, fa già presentire che la elettricità della Torpedine è dovuta specialmente all' influsso dinamico del sistema nervoso, mentre nel Gimnoto deriva come vedremo dalle reazioni chimiche di una vera pila voltiana. Ma prima di sviluppare le nostre vedute in questo proposito, per completare la descrizione anatomica dell' organo elettrico di questo pesce, ci resta a parlare degli spazii che separano le diverse parti dei diaframmi elettrici, e dei fluidi che gli riempiono.

Ogni diaframma elettrico, come abbiamo già veduto, è separato dal seguente per uno spazio od intervallo nel quale sorgono le cellule superiori, mentre un altro spazio esiste fra il corpo cellulare e la lamella fibrillare sottoposta nel quale discendono le cellule inferiori e i prolungamenti spiniformi. Questi due spazii essendo, l' uno *sopra,* l' altro *sotto* il piano del corpo cellulare (Fig. 4ª); perciò noi chiameremo *spazio sopra-cellulare* il primo, e *spazio sotto-cellulare* il secondo.

Questi due spazii, nel frammento di organo elettrico che ho esaminato, già conservato da lungo tempo nell'alcool, erano occupati da una sostanza amorfa più o meno granulosa e concreta, la quale evidentemente era di natura albuminosa, coagulata dall'alcool. Perciò nello stato naturale, non credo che in questi spazii si trovi altro che un fluido trasparente, onde io gli ho rappresentati come vuoti, giacchè un fluido trasparente non può essere rappresentato in figura.

Sarebbe della più grande importanza il constatare la composizione chimica dei due fluidi accennati, non che quella del corpo cellulare: ma essendo questa una ricerca, che credo non possa farsi se non che sull'animale fresco, perciò vi suppliremo provvisoriamente con qualche induzione, la quale almeno potrà suggerire gli esperimenti da farsi.

Primieramente, che la composizione chimica del corpo cellulare sia di natura ben diversa da quella dei due fluidi fra'i quali è compreso, resulta evidente anche pei caratteri microscopici soltanto, mentre la organizzazione e la solidità del primo induce una composizione diversa da quella dei secondi. Quanto a questi, considerando che sono separati l'uno dall'altro, da una parte per la interposizione del piano del *corpo cellulare*, dall'altra per la interposizione della *lamella fibrillare*, è evidente che se avessero una composizione identica non sarebbe necessaria una sì completa separazione. Però la lamella fibrillare, mancando di un epitelio, se può bastare a tener separati i due fluidi impedendo la loro miscela, non può per altro impedire che vengano fra loro a reciproco contatto a traverso alle maglie interstiziali delle sue fibrille. D'altra parte considerando le apparenze differenti dei coaguli, sotto cui si presentano questi due fluidi alterati dall'alcool, non può porsi in dubbio una differenza di composizione. Di fatto il coagulo del fluido sotto-cellulare è più oscuro ed a granulazioni più grosse, di quello sopra-cellulare; e qualche volta ho veduto che una soluzione di potassa ha reso anche più oscuro il primo e più chiaro il secondo. Se si esaminano questi coaguli nelle serie dei diaframmi *anormali* si vede (a favore dei loro intervalli, assai più grandi del volume dei coaguli), che il coagulo sotto-cellulare è sempre formato esclusivamente di granulazioni, mentre in quello sopra-cellulare vi si vedono ancora delle fibre, che i caratteri chimici e microscopici fanno riconoscere costituite da fibrina, coagulata spontaneamente. A questo proposito non è da trascurarsi l'osservare, che in queste serie di diaframmi *anormali* i coaguli accennati si erano condensati principalmente alla superfice delle cellule superiori, e delle cellule inferiori: il che mostra per lo meno, che il corpo

cellulare negli ultimi istanti della vita non è rimasto indifferente all'atto di coagulazione.

Ma è ormai tempo di stabilire un confronto fra gli organi elettrici di cui abbiamo parlato fin'ora, e le diverse pile elettriche, con le quali il genio umano ha saputo, senza avvedersene, emulare la natura.

Da che si conoscono i fenomeni singolari dei pesci elettrici, dopo le esperienze istituite dai fisici e principalmente dal celebre nostro Prof. Matteucci, si conviene ormai generalmente, che è per l'influsso nervoso che l'organo elettrico dei pesci sviluppa la elettricità. Ma rimaneva a sapersi se questa elettricità sia, in qualche modo, una semplice trasformazione della forza nervosa in forza elettrica, ovvero se sia una forza distinta, se non essenzialmente diversa, nella produzione della quale la forza nervosa abbia per stromento qualcuna di quelle indispensabili condizioni, che costituiscono il carattere, e sulle quali è fondata la costruzione di una pila elettrica qualunque.

Le nozioni che si sono avute fin'ora sulla struttura dell'organo elettrico della Torpedine e del Gimnoto erano troppo vaghe ed incomplete per risolvere una tal questione; poichè se si erano trovate delle serie di parti ripetute indefinitamente come nella costruzione di una pila, ciò non significava che un artifizio della natura per *moltiplicare* gli sviluppi parziali di elettricità; ma questo artifizio non costituisce al certo la condizione elettromotrice per mezzo della quale la elettricità si sviluppa. Affinchè dunque si potesse giustamente assimilare l'organo elettrico di questi pesci ad una pila, era necessario ricercare se nella intimità della sua apparente struttura si verificasse ancora qualcuna di quelle condizioni, senza delle quali, le cause elettromotrici le più potenti non valgono ad eccitare o almeno a manifestare alcuno sviluppo di elettricità.

Ora, riflettendo a quanto abbiamo osservato nell'organo elettrico del Gimnoto noi non possiamo ricusarci dal vedere nella sua struttura il *tipo ternario* di una vera *pila voltiana.* Di fatto, facendo astrazione dalla *lamella fibrillare,* della quale fra poco parleremo, noi vediamo per ciascun diaframma (Fig. 4ª) succedersi a vicenda *tre corpi* differenti, cioè il *fluido sotto-cellulare,* il *corpo cellulare,* ed il *fluido sopra-cellulare.*

Quale di questi tre corpi costituisca l'elemento *negativo, positivo,* o *conduttore,* ciò poco importa, poichè la *positività* o *negatività* di un elemento *è relativa* e non assoluta, nè d'ordinario vi ha un elemento conduttore che sia affatto indifferente e passivo; per conseguenza il carattere della *pila voltiana* non dipende da quella determinazione, ma invece dipende dalla condizione che tre specie di corpi

eterogenei e deferenti stiano riuniti vicendevolmente in serie; nella quale ciascuno dei tre corpi può trovarsi indifferentemente alla estremità positiva o negativa di questa serie o pila. Non ostante, poichè in certe costruzioni, due degli elementi sono più strettamente dipendenti l'uno dall'altro che dal terzo, perciò i due primi si sogliono considerare come costituenti la *coppia voltiana*, mentre il terzo resulta il *conduttore*. Posto ciò e riflettendo che il corpo cellulare ed il fluido sotto-cellulare fanno parte integrante di ciascun diaframma, perciò possono rappresentare la *coppia voltiana*: nella quale, dietro le esperienze di Faraday sul Gimnoto, e avuto riguardo alla relativa posizione da noi determinata, il *fluido sotto-cellulare* costituisce l'elemento *negativo*; e il *corpo cellulare* l'elemento *positivo*; mentre il fluido *sopra-cellulare* resulta naturalmente l'elemento *conduttore*.

Quanto alla *lamella fibrillare*, limitando essa il fluido sotto-cellulare, non cessa di rappresentare la superfice *negativa* di ciascun diaframma: ma la sua vera destinazione è manifestamente quella di tener sospesa la espansione dei nervi *nel piano di contatto* dei due fluidi accennati; mentre mantiene ancora questi due fluidi separati l'uno dall'altro, non altrimenti che il *setto poroso* di creta interposto fra i due liquidi reagenti delle pile di Bunsen o di Grove.

Questa interpretazione delle diverse parti dell'apparecchio elettrico del Gimnoto è, come ognun vede, rigorosamente conforme alle condizioni che si esigono nella costruzione di una pila voltiana; nè credo che vi sarebbe difficoltà da opporre, quando noi potessimo addurre una ragione sodisfacente del perchè gli elementi elettromotori di questa pila organica del Gimnoto non entrino in conflitto, se non che dietro l'impulso della volontà.

Per rendersi ragione di ciò ricordiamoci prima di tutto quanta influenza eserciti il sistema nervoso sulle reazioni chimico-organiche di tutta l'animale economia, e ponendo quindi che gli elementi elettromotori del Gimnoto (similmente che gli elementi componenti le polveri infiammabili) siano soltanto *in attitudine di reazione*, resulta evidente esser necessaria una azione straniera (l'azione nervosa), affinchè la reazione si compia in un istante, e (nel caso nostro) proporzionatamente al grado dell'azione ed al quanto gli elementi elettromotori eran disposti.

Questa spiegazione che io non ardisco di avanzare se non che per dar motivo agli esperimenti necessarii a convalidarla, giustifica la comparazione che abbiamo fatta fra la pila voltiana e l'organo elettrico del Gimnoto, togliendo la speciosa difficoltà che resulta dalla differenza fra la spontaneità della reazione nella

pila voltiana, e la sua subordinazione alla volontà nell'organo elettrico del Gimnoto.

Se ora ci fosse permesso abbandonarci un poco a qualche teleologica riflessione, dietro il principio che tutto nella provvidenziale economia della creazione sia disposto in modo che col minor dispendio sia raggiunto il maggiore effetto possibile, noi non potremmo fare a meno di riconoscere in alcune particolarità dell'organo elettrico del Gimnoto, quegli stessi artifizii che vedonsi usati nelle più potenti pile dei giorni nostri. Così, e la maggiore estensione che le cellule superiori ed inferiori danno alle superfici di contatto del corpo cellulare e dei due fluidi fra i quali è compreso, e la maggiore estensione della superfice positiva che della negativa in ogni diaframma, e la fluidità di due dei tre elementi, comparabili ai due liquidi reagenti di varie pile potentissime, sono per me altrettante disposizioni e condizioni che vedonsi riprodotte nelle diverse costruzioni di pile, quali troppo lungo sarebbe il rammentare. Dopo di ciò non sarà inutile finalmente osservare, che la distribuzione dei nervi sulla sola superfice *negativa* nel Gimnoto, mostra che questo pesce riunisce ancora, almeno come accessoria, la condizione elettromotrice principale dell'organo elettrico della Torpedine.

Noi abbiamo veduto come l'organo elettrico della Torpedine resulti di due sole specie di corpi, posti alternativamente in serie indefinita, cioè di diaframmi semplicissimi e di fluidi intermedii. La grande semplicità di questi diaframmi non permettendo di ravvisare in questa serie il tipo ternario della pila voltiana, se anche l'organo elettrico della Torpedine è veramente una pila, non resta a considerarlo che come una *pila binaria.* In questa ipotesi, i diaframmi della Torpedine dovrebbero offrire *una qualche condizione differente* sulle due superfici, condizione capace di supplire alla mancante duplicità della coppia voltiana. Ora, la osservazione ci ha mostrato che le fibre nervose dell'organo elettrico di questo pesce si distribuiscono soltanto sulla superfice inferiore dei diaframmi, e segnatamente su quella *negativa.* Ciò basta, avuto riguardo alla potenza dinamica e chimica che può spiegare il sistema nervoso, onde costituire una condizione elettromotrice per una differenza di azione, sia nel grado sia nel modo, sulle due superfici di ciascun diaframma. Considerando poi quanta analogia ravvicini il *calorico* alla *forza nervosa,* resulta naturalmente evidente l'analogia fra la pila *binaria termo-elettrica* e l'organo elettrico della Torpedine; equivalendo la *differenza di temperatura* nella prima, alla *differenza di innervazione* nel secondo. Dietro ciò quando si volesse usare,

una appellazione analoga a quella di *pila termo-elettrica*, l' organo elettrico della Torpedine non sarebbe che un *pila nerveo-elettrica*.

Ma se la *forza nervosa* nell' organo elettrico della Torpedine fa l' effetto del *calorico* nella pila termo-elettrica, noi dovremmo avere in quell' organo un conflitto più dinamico che chimico, cioè più un cambiamento di *stato elettrico* che un cambiamento *molecolare*, essendo che nelle pile termo-elettriche non è il conflitto chimico la principale sorgente della elettricità, ma è il conflitto dinamico fra le due polarità o stati elettrici, inerenti a due differenti gradi di temperatura. Ora, può fondatamente presumersi che sia appunto così anche nell' organo elettrico della Torpedine.

Di fatto, senza negare una qualche reazione chimica anche nell' organo elettrico di questo pesce, la quale deve essere al sommo grado potente fra i *tre* elementi elettro-motori del Gimnoto; partendo dal principio che l' *azione chimica* deve essere proporzionata alla *quantità dei materiali* in conflitto, mentre l' *azione dinamica* deve essere proporzionata alla *quantità delle fibre nervose*, noi troviamo precisamente la proporzione inversa di queste due quantità, fra l' organo elettrico della Torpedine e quello del Gimnoto. Così, per valutare la quantità relativa dei materiali in una egual sezione dell' organo elettrico della Torpedine e del Gimnoto, prendendo l' altezza di un egual numero di diaframmi coi loro fluidi intermedii, si trova che nella Torpedine 10 diaframmi occupano una altezza $= 0{,}200^{mm}$, e nel Gimnoto $= 1{,}530^{mm}$; sicchè la quantità relativa dei loro materiali sta presso a poco respettivamente : : 1 : 8. D'altra parte J. Hunter aveva già segnalata la gran quantità assolutamente maggiore dei nervi elettrici della Torpedine in confronto di quelli del Gimnoto, quando noi abbiamo ritrovata questa considerabile proporzione sopra una eguale superfice dei diaframmi elettrici; sui quali anzi la proporzione è ancor più grande di quella segnalata da Hunter, per la piccolezza dell' organo elettrico della Torpedine e la grandezza di quello del Gimnoto: ed ora alla maggiore quantità aggiungendo la maggior grossezza delle fibre nervose dell' organo elettrico della Torpedine, la proporzione diviene tale da superare assai la inversa di quella precedente. Se dunque nell' organo elettrico della Torpedine a *tipo binario* predominano i *nervi* e scarseggiano i *materiali*, ed in quello del Gimnoto a *tipo ternario* predominano i *materiali* e scarseggiano i *nervi*, bisogna di necessità venire a questa conclusione, che la elettricità nella Torpedine deriva principalmente dal *conflitto dinamico* fra le due polarità inerenti a due differenti modi o gradi di innervazione, e nel Gimnoto dal

conflitto chimico fra i materiali degli elementi, eccitato dall' influsso nervoso.

Il Prof. Matteucci ha osservato un fenomeno veramente singolare, il quale mentre non sembra possibile nel Gimnoto, trova anzi una qualche spiegazione nella nostra teoria dell' organo elettrico della Torpedine, e così verrebbe a confermarla. Tormentando sperimentalmente in varii modi il *lobo elettrico* della Torpedine quando questa ha cessato di dare scariche volontarie, il Prof. Matteucci ha osservato che fra le scariche in tal guisa provocate, ve ne ha talvolta qualcuna, sebbene raramente, la quale è diretta *in senso inverso* della scarica ordinaria (1). Ora se la condizione elettro-motrice della Torpedine fosse della stessa natura di quella *voltiana* del Gimnoto, ognun vede che la inversione della corrente sarebbe impossibile, giacchè nella pila voltiana la direzione della corrente dipende dall' ordine in cui sono disposti gli elementi elettromotori. Ma in una *pila binaria,* come è quella della Torpedine, nulla è più facile che la inversione della corrente, quando però la condizione elettromotrice non dipenda dalla differenza di estensione delle superfici, come nella *pila binaria di Zamboni*: ma quando invece dipenda da una differenza dinamica come nella *pila termo-elettrica;* o da una differenza chimica o di alterazione molecolare, come nella *pila secondaria di Ritter*, la inversione della corrente può facilmente ottenersi, invertendo la condizione elettromotrice. Or dunque per rendersi ragione del citato fenomeno colla nostra teoria si presentano due spiegazioni, fra le quali gli esperimenti ulteriori potranno decidere, quantunque provvisoriamente io sia per dare la preferenza alla seconda.

1ª Fra gli atti sperimentali esercitati sul lobo elettrico ve ne può essere stato qualcuno che abbia invertita l' azione nervosa (il che per altro è poco concepibile), di modo che ne sia resultato un effetto simile a quello che si verifica nella pila termoelettrica, nella quale riscaldando le saldature alternative si determina una corrente elettrica per un verso, mentre raffreddandole si rovescia la corrente in senso opposto.

2ª Potrebbesi invece supporre che fra gli atti sperimentali esercitati sul lobo elettrico, ve ne sia stato qualcuno talmente stimolante da eccitare una scarica eccessiva, e capace di alterare la costituzione molecolare dei diaframmi della Torpedine, come accade nella pila secondaria di Ritter quando viene posta nel circuito di un' altra pila attiva; di modo che dopo la sca-

(1) *Lezioni sui fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi.* Pisa 1846, pag. 168.

rica, l' alterazione molecolare lasciata a se stessa, reagendo, abbia prodotta come nella pila di Ritter, una corrente in senso contrario (1).

(1) La condizione elettro-motrice che abbiamo segnalata nei diaframmi elettrici della Torpedine apre la via per giungere a spiegare molti fenomeni fisiologici e morbosi, che fin ora o sono rimasti inesplicabili, o sono reputati incredibili per la loro stranezza e singolarità.

Se noi confrontiamo un diaframma elettrico della Torpedine o del Gimnoto con certe *membrane a superfice libera*, come la pelle, le membrane mucose ec., nei loro rapporti respettivi colle fibre nervose, si vede che sì nel diaframma elettrico che nella pelle le fibre nervose si pongono in rapporto da *un solo lato* o superfice, la quale nei diaframmi elettrici è quella *negativa*. Dietro ciò si concepisce la possibilità di una manifestazione di *elettricità positiva* sulla superfice libera della pelle: se non che, considerando che *in un solo prisma* di una Torpedine di media grossezza la condizione elettro-motrice *è ripetuta* (nel numero dei diaframmi) non meno di *duemila volte*, e *in una sola serie* del Gimnoto più di *quattromila volte*, non è da meravigliare se sulla pelle, in cui la condizione elettro-motrice è (per così dire) ripetuta *una sola volta*, non si abbia d'ordinario alcun sensibile indizio di elettricità. Che se la pelle per la sua vasta superfice può dar luogo allo sviluppo di una grande *quantità* di elettricità, questa per altro non può nei casi ordinarii giungere ad una *tensione* sufficentemente sensibile; essendo la tensione presso a poco in ragione diretta del numero degli elementi elettromotori e indipendente dalla estensione della superfice; la cui vastità nella pelle favorisce invece il continuo disperdimento o ricomposizione della elettricità. Non ostante ciò, Pfaff ed Ahrens per mezzo di accurati e delicati esperimenti hanno posto fuori di dubbio questa *perenne secrezione di elettricità* dalla pelle, come pure le sue variazioni e la sua inversione in diverse circostanze (V. Muller, *Physiologie;* Paris, 1845, tom. 1, pag. 66).

Ma qui si avverta bene di non confondere questa *elettricità veramente animale*, derivante cioè dall'azione dinamica dei nervi, con quella elettricità che in circostanze favorevoli si può facilmente eccitare, tanto sugli animali che sull'uomo, sia per delle confricazioni sulla pelle, sia ponendo in *rapporto galvanico* dei tessuti o dei fluidi di diversa natura: questa seconda *elettricità pretesa animale*, è facile il persuadersi che non esiste se non che *per il fatto sperimentale* e nulla più. Io non parlerò delle esperienze di Dubois-Reimond di Berlino sulla elettricità sviluppata per la contrazione muscolare; sembrando anche a me che i fenomeni da lui osservati non siano stati altro che una pura illusione (*V. Archives des Sciences Physiques et Naturelles,* Geneve 1849, tom. XI, pag. 217).

Fra i racconti che si hanno di spontanee manifestazioni ignee od elettriche sulla superfice del corpo nell'uomo ed in altri animali, ve ne sono molti pur troppo esagerati od alterati da una immaginazione esaltata, sicchè non possono valutarsi quanto forse nel fondo meriterebbero. Ma la Scienza ha dovuto registrare un caso di questo genere, sì bene circostanziato, ed esposto con tanta semplicità, che per quanto stranissimo e sorprendente, non ha incontrato alcun dubbio presso una delle autorità più competenti in queste materie, quale è quella del celebre Prof. De La Rive.

La mancanza di sufficenti conoscenze circa alla struttura intima dell'organo elettrico degli altri pesci ci impedisce di parlarne in un modo speciale: ma possiamo ritenere con la più ragionevole probabilità che il loro organo elettrico appartenga o al *tipo binario* di quello della Torpedine, o al *tipo ternario* di quello del Gimnoto, a seconda della semplicità o della complicanza dei loro diaframmi elettrici. Se non che vi ha l'organo elettrico del Siluro, che osservato superficialmente, minaccerebbe di rovesciare tutte le nostre teorie.

Difatto l'organo elettrico di questo pesce (Fig. 2ª) non ha neppure l'apparenza od una lontana simiglianza con alcuna sorta di pile. Ma se noi dovessimo stare a questo carattere superficiale, ai giorni nostri non si riconoscerebbe più neppure la pila voltiana, tanto e in sì diverse guise è stata variata, qualmente ne è suscettibile, la forma esteriore primitiva di questa e di altre pile. Ciò per altro non sarebbe una ragione sodisfacente,

Questo caso essendo generalmente poco noto merita che in brevi parole lo esponiamo. Esso fu da prima pubblicato nell'*American Journal* del gennajo 1838 dal Dott. Hasford, medico ad Oxford nel New-Hampshire, il quale ne fu lungamente testimone oculare; e quindi riprodotto nella *Bibliothèque Universelle de Gèneve* (avril 1838, pag. 412), e negli *Annali Universali di Medicina di Milano* (decembre 1841, pag. 652).

La sera del 25 gennajo 1837, al momento della comparsa di una bella *aurora boreale*, una giovine donna di circa 30 anni, cominciò a manifestare dei sorprendenti fenomeni di elettricità. Questa donna, di temperamento nervoso e delicato, conducente una vita agiata e sedentaria, soffriva da due anni antecedenti di passeggere reumatalgie, e nel precedente autunno e nel principio dell'inverno fu affetta da una nevralgia vaga in varie parti del corpo, mentre qualche volta ebbe a provare una particolare sensazione, come se le fosse stata versata sopra dell'acqua ben calda. I fenomeni elettrici che presentava, consistevano in scintille vive e rutilanti, accompagnate da una sensazione dolorosa, le quali giungevano a maggiore o minor distanza, a seconda del tempo trascorso senza perdere elettricità. Se si avvicinava di troppo a qualche persona od a qualche oggetto deferente, da qualunque parte del corpo fosse più prossima mandava delle scintille; sicchè d'ordinario, quando la tensione era giunta ad un certo grado, le scintille passavano dalle sue estremità inferiori nel terreno, malgrado le scarpe ed un tappeto di lana su cui teneva i piedi. In certe circostanze favorevoli era capace in un minuto di mandare 4 scintille di 1 $^1/_2$ poll. ciascuna. Se poi teneva la mano costantemente prossima ad un globo metallico, ad ogni secondo mandava una scintilla di $^1/_{16}$ poll. Questi fenomeni singolari, che principiarono il 25 gennajo, andarono in aumento fino al termine di febbrajo, dalla quale epoca cominciarono gradatamente a diminuire, finchè alla metà di maggio erano totalmente cessati. È osservabile che questo sviluppo di elettricità cresceva a misura che aumentava la temperatura ambiente, e diminuiva nel caso opposto, sicchè cessava affatto prima che la temperatura

quando d' altra parte non ci potessimo rendere conto di una così singolare modificazione dell' organo elettrico del Siluro. Tentiamo dunque di togliere anche questo dubbio, prima di dar termine a questa Memoria.

Fra tutti i pesci elettrici fin qui conosciuti il Siluro è l' unico che non offre nel suo organo elettrico la forma di una pila: ma dobbiamo osservare che è ancora l' unico, il cui organo elettrico involga e circondi *a guisa di un sacco* tutto il corpo, eccettuata la estremità del muso e le diverse natatoje (vedasi la mia Memoria citata sul Siluro). Questa disposizione mostra evidentemente che le correnti elettriche del Siluro non escono da punti determinati e speciali della superfice dell' organo elettrico; come nella Torpedine dalla faccia dorsale e ventrale dell' organo ove principiano e terminano i prismi elettrici; o come nel Gimnoto dalla estremità cefalica e caudale dell' organo, ove cominciano e terminano le serie dei suoi diaframmi: nel Siluro invece le correnti

arrivasse a 0°. Ma ciò che merita maggiore attenzione si è che, secondo quanto riferiva la donna, il sentimento della paura sospendeva affatto ogni sviluppo di elettricità. Cessati questi fenomeni la donna potè godere di uno stato di salute, che non aveva mai goduto per l' avanti, almeno fino al 16 novembre dello stesso anno, epoca delle ultime notizie.

Riflettendo su questo caso singolare, mi sembra poter dedurre che quei fenomeni elettrici non fossero che la *crise* di un particolare stato nervoso, la cui *condizione patologica*, quando in simili casi fosse investigabile, credo che dovrebbesi ricercare nei *gangli intervertebrali*, o almeno dirigere verso quella parte i provvedimenti terapeutici: e ciò per un complesso di ragioni che ora non mi è permesso sviluppare, ma che è facile concepire, avuto riguardo: 1° alla *continuità* di questo sviluppo di elettricità; 2° all' essere i nervi della pelle come i nervi elettrici dei pesci, dotati di un grosso ganglio presso la loro origine; 3° alla duplice direzione dell' azione nervosa dei nervi cutanei e di altri ancora, cioè l' una centripeta o sensitiva, l' altra *centrifuga* od organica, e questa *continua* e derivante dai gangli intervertebrali, come può dedursi ancora dagli esperimenti di Waller *Sul centro nutritivo delle fibre sensitive*, quali ha presentati il 30 agosto di questo anno all' Accademia delle Scienze di Parigi.

Del resto, questa straordinaria manifestazione di elettricità avendo incominciato nel momento di un' aurora boreale, è più che probabile che nella disposizione in cui si trovava la donna, abbia avuto per causa *occasionale* una speciale condizione magnetica del Globo terrestre.

L' illustre Prof. De La Rive, in seguito di questo fatto singolare, fa osservare che si sono veduti degli individui capaci, se non di sviluppare, almeno di *arrestare* una scarica elettrica come farebbe un corpo coibente. Non sembrando che in questi casi la elettricità possa essere arrestata se non che da altra elettricità omonima diretta in senso contrario, perciò è probabile che quegli individui si trovassero in uno stato analogo a quello che dà facoltà di svilupparla.

devono poter sortire da qualunque punto della superfice dell'organo, diversamente non ne sarebbe *interamente rivestito*. Ora se le correnti del Siluro devono poter sortire da qualunque punto della superfice dell' organo, ne viene la conseguenza che anche l' organo dee potere essere percorso per ogni verso dalle correnti elettriche, a seconda della varia direzione di quella qualunque serie di diaframmi che l' animale atteggia ad elettricità: ma perchè sia possibile ciò, è evidente che i suoi elementi elettro-motori non devono esser disposti in serie determinate e dirette tutte nello stesso senso come nella Torpedine e nel Gimnoto, poichè quando ciò fosse ed una corrente dovesse passare da una serie ad un'altra per prendere una direzione obliqua, troverebbe un forte ostacolo nel punto di passaggio, quando non rimanesse totalmente interrotta. Ecco dunque la ragione per la quale gli elementi elettromotori del Siluro non sono disposti in serie uniformi e dirette nello stesso senso in modo da simigliare alla forma esteriore di una pila; il che nulla affatto altera i principii da noi stabiliti.

Questa interpretazione è d' altronde convalidata dalla presenza, nel solo Siluro, di uno strato adiposo isolante che separa l'organo elettrico dal rimanente del corpo, strato la cui presenza ed estensione dimostra che le correnti elettriche del Siluro per la speciale conformazione del suo organo elettrico hanno facoltà e tendenza a prendere tutte le direzioni, mentre nella Torpedine e nel Gimnoto restando *incanalate* nelle serie dei diaframmi, e trovando maggiore facilità a percorrere il resto della serie che a deviarne, perciò in questi pesci non vi è bisogno di alcuno strato isolante che garantisca il loro corpo dalla propria elettricità. Che se nel Gimnoto ve ne è uno, questo trovasi soltanto fra il grande e il piccolo organo elettrico; essendo evidentemente destinato ad impedire che la influenza dell' uno, non alteri le condizioni fisiologiche dell' altro. Dietro ciò è chiaro che questi pesci non hanno, come si ha preteso dietro false apparenze, la facoltà di dirigere volontariamente al di fuori la propria elettricità, poichè sortita una volta dall' organo elettrico che l' ha prodotta, è fuori ancora del dominio della volontà.